

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Návrh technologického řešení pro konverzi přístupové sítě
Technological Solution for Conversion of Access network

2013

Miroslav Holub

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Miroslav Holub**

Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2601R013 Telekomunikační technika

Téma: **Návrh technologického řešení pro konverzi přístupové sítě**
Technological Solution for Conversion of Access Network

Zásady pro vypracování:

1. Popište současný stav a použité technologie přístupové sítě pro Město Albrechtice.
2. Navrhněte řešení pro konverzi přístupové sítě za použití moderních technologií.
3. Navržené řešení ověřte a vyhodnoťte.

Seznam doporučené odborné literatury:


[1]LARGE, David a James FARMER. Broadband cable access networks: the HFC plant. 2nd ed. Boston: Morgan Kaufmann/Elsevier, c2009, xi, 414 p. ISBN 01-237-4401-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Libor Michalek, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013


prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 22. dubna 2013


.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Liboru Michalkovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby

„Souhlasím se zveřejněním této bakalářské/diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských/magisterských programech VŠB-TU Ostrava.“

Dne: *22. dubna 2013*

.....
podpis zástupce

Abstrakt

Obsahem bakalářské práce je popis stávající přístupové metalické sítě v Městě Albrechticích a konverze její části na síť optickou. Je zde popsána realizace, topologie, použitá technologie, využití a provoz obou přístupových sítí. V hlavní části je práce zaměřena na porovnání a zhodnocení možností stávající metalické přístupové sítě a nově vybudované optické sítě pro poskytování internetu koncovým uživatelům.

Klíčová slova

Optická přístupová síť, metalická přístupová síť

Abstract

This bachelor thesis contains description of the present metallic access network in Město Albrechtice and conversion of a part of this metallic network to optical network. It describes the realization, typology, technology that was used, as well as the usage and running of both the access networks. The main part of the thesis is concentrated on comparison and evaluation of the abilities of both the networks , i. e. the current metallic access network and the new developed optical network, to provide internet for ultimate customers .

Key words

Optical access network, metallic access network

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Anglický význam	Český význam
BPON	Broadband Passive Optical Network	Širokopásmová pasivní optická síť
CMTS	Cable modem termination system	Zařízení pro připojení zákazníků v sítích kabelových operátorů
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplex	Hrubý vlnový multiplex
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol	Protokol pro automatickou konfiguraci počítačů
DVB-T	Digital Video Broadcasting – Terrestrial	Pozemní digitální televizní vysílání
DWDM	Dense Wavelength Division multiplexing	Hustý vlnový multiplex
EPON	Ethernet Passive Optical Network	Ethernetová pasivní optická síť
FTTB	Fiber To The Building	Optický kabel přiveden do rozvaděče v budově
FTTC	Fiber To The Curb	Optický kabel přiveden do rozvaděče mimo budovu
FTTH	Fiber To The Home	Optický kabel přiveden do domácnosti
FTTO	Fiber To The Office	Optický kabel přiveden do prostor zákazníka
GPON	Gigabit Passive Optical Network	Gigabitová pasivní optická síť
IP Adress	Internet Protocol Address	Číslo, které jednoznačně identifikuje síťové rozhraní v počítačové síti
IPTV	Internet Protocol Television	Televize přes IP protokol
MAC Adress	Media Access Control Address	Jedinečný identifikátor síťového zařízení

MM	Multi mode	Mnohovidové optické vlákno
OAN	Optical Access Network	Optická přístupová síť
ODN	Optical Distribution Network	Optická distribuční síť
OLT	Optical Line Termination	Optické linkové zakončení
ONU	Optical Network Unit	Optické ukončující jednotky
PON	Passive Optical Network	Pasivní optická síť
SM	Single mode	Jednovidové optické vlákno
STP	Shielded Twisted Pair	Stíněný kroucený dvojlinkový kabel
TFTP	Trivial File Transfer Protocol	Jednoduchý protokol pro přenos souborů
UHF	Ultra High Frequency	Ultra krátké vlny 300 – 3000 MHz
UTP	Unshielded Twisted Pair	Nestíněný kroucený dvojlinkový kabel
VHF	Very High Frequency	Velmi krátké vlny 30 - 300 MHz
VLAN	Virtual Local Area Network	Virtuální lokální síť
WDM	Wavelength Division multiplexing	Vlnový multiplex

Obsah

1	Úvod	12
2	Přístupové sítě obecně a jejich vlastnosti	14
2.1	Optické přístupové sítě	14
2.1.1	Typy topologie.....	14
2.1.2	Základními funkčními celky optických přístupových sítí jsou :.....	14
2.1.3	Jednovidová vlákna (SM, single mode).....	16
2.1.4	Mnohavidové vlákna (MM, multimode)	16
2.1.5	WDM.....	17
2.1.6	CWDM, DWDM	17
2.1.7	Výhody optických vláken	18
2.1.8	Media konvertory	19
2.2	Metallické přístupové sítě.....	19
2.2.1	Rozdělení metallických vedení, které se používají pro datové přenosy	19
2.2.2	Základní vlastnosti metallických vedení.....	21
3	Metallická přístupová síť v Městě Albrechticích – stávající řešení.....	22
3.1	Topologie sítě	22
3.2	Použité zařízení.....	23
3.2.1	Kabel C3 - Draka Coax3 CT 33 S	23
3.2.2	Kabel C4 - Draka Coax4 CT 22 S	24
3.2.3	Kabel C6 - Draka Coax6 CT 17 E.....	24
3.2.4	Kabel PRG 11 – Belden PRG 11 CU PVC.....	24
3.2.5	Kabel H125 – Belden H125 Cu PVC	24
3.2.6	Head-end Corinex CXP-HDA-GWYC	25
3.2.7	Modem, head-end, repeater : Corinex AV200 CableLan Adapter	26

3.2.8	Server.....	26
3.3	Napájení zařízení	27
3.3.1	Zesilovač.....	27
3.4	Realizace spojení k internetu ve stávající metalické síti	28
3.4.1	Management	28
3.4.2	Architektura spojení	32
4	Konverze přístupová síť v Městě Albrechticích.....	35
4.1	Topologie sítě	35
4.2	Použité zařízení.....	36
4.2.1	4 vláknový optický kabel.....	37
4.2.2	12 vláknový optický kabel.....	37
4.2.3	24 vláknový optický kabel.....	37
4.2.4	Optické převodníky TP-LINK MC111CS, TP-LINK MC112CS	37
4.2.5	Optický přepínač Edge-Core ES3528M	38
4.2.6	Optický přepínač Edge-Core ES3510.....	38
4.3	Propustnost, odezvy, stabilita sítě.....	39
5	Závěr	41
	Použitá literatura	42
	Seznam příloh	xliv

1 Úvod

Z důvodu problematického příjmu pozemního televizního signálu v Městě Albrechticích se zastupitelé města rozhodli podpořit návrh na zbudování rozvodu kabelové televize. Síť v Městě Albrechticích byla vybudována v roce 1996. Při realizaci se spolupracovalo s externí firmou Saturn Holešov, která pak několik let kabelovou televizi pro město provozovala a zaštiťovala po stránce legislativní. Majitelem, od roku 2006 i provozovatelem kabelové televize a poskytovatelem internetu je město Město Albrechtice. Město provozuje síť pod názvem TKR Město Albrechtice.

Síť byla navržena pro požadavky kabelové televize. Zástupcům města se podařilo domluvit s firmou SPT Telecom, která v té době budovala optickou síť pro své potřeby, na rozložení nákladů výkopových prací, a proto mohly být současně s pokládkou optických kabelů firmy SPT Telecom do jednoho výkopu připoloženy i koaxiální kabely pro plánovanou kabelovou televizi města. Síť je poměrně rozsáhlá, na trasách je rozmístěno 92 zesilovačů a v dnešní době je připojeno do 600 domácností. Jednotlivé trasy mají od hlavní stanice k poslednímu bodu do 3km.

Televizní signál je vysílán v pásmu VHF a UHF v rozsahu od 175 MHz do 626 MHz. Do roku 2011 byl signál výhradně analogový. S nárůstem televizí s většími úhlopříčkami bylo nutno nabídnout zákazníkům digitální vysílání, a zajistit tak kvalitnější obraz i na těchto televizích. Postupně bylo tedy vysílání kabelové televize digitalizováno. Aby bylo digitální vysílání snadno a levně dostupné i pro majitele starších televizí, zvolili jsme vysílání v DVB-T. Multiplexy v českém jazyce využívají komprese MPEG2, multiplexy, které jsou vysílány v polském jazyce, pak komprese MPEG4.

V době vzniku se nepředpokládalo jiné využití než pro potřeby kabelové televize, a tudíž se ani žádné další možnosti nehledaly. Teprve s postupem doby, všeobecným rozšířením internetu a poptávce zákazníků po možnosti připojení k internetu přes síť TKR Město Albrechtice se hledaly další možnosti využití již funkční sítě kabelové televize. V roce 2006 se začala síť využívat i pro provozování internetu pro koncové uživatele. Protože pro město bylo nasazení technologie Docsis finančně nedosažitelné, byla zvolena technologie firmy Corinex, která se provozuje bez výrazných změn do dnes.

V roce 2012 se začala budovat optická síť, na jejíž realizaci, stejně jako na digitalizaci, jsem se již aktivně podílel. Při budování optické sítě jsme využili výkopových prací při rekonstrukci veřejného osvětlení ve městě. Optická síť slouží pro provozování internetu pro koncové uživatele a zároveň slouží i k potřebám města. Již nyní připojuje zákazníky z lokality ulic Nádražní, Lázeňská a Osoblažská k internetu a umožňuje ovládat některé rozvaděče veřejného osvětlení. Od letošního roku bude sloužit k připojení kamer ve městě a k jejich propojení na radnici města a místní policejní stanici.

V první etapě budování optické sítě bylo vytčeno několik cílů: propojit panelové domy na ulici Nádražní a připojit je na naši hlavní stanici, hlavní stanici připojit optickým kabelem na stávající optickou síť společnosti Telefónica Czech Republic a připojit rozvaděč veřejného osvětlení na ulici Nádražní.

Cílem této bakalářské práce je popsat stávající metalickou a optickou síť v Městě Albrechticích, porovnat možnosti provozování internetu na obou přístupových sítích, odůvodnit přínos konverze z metalické na optickou síť, poukázat na typické vlastnosti, výhody i nevýhody zvoleného řešení.

2 Přístupové sítě obecně a jejich vlastnosti

Základním rozdílem mezi metalickými a optickými kabely je, že u metalických kabelů jsou data přenášena za využití elektrických signálů, zatímco v optických kabelech je signál přenášen světelnými impulzy. Více o telekomunikačních sítích, jejich popis a vlastnosti se lze dočíst ve zdroji [15], [16].

2.1 Optické přístupové sítě

2.1.1 Typy topologie

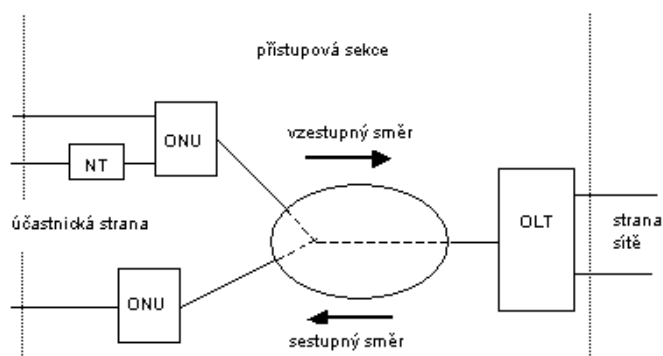
Optické technologie pronikají do přístupových sítí v první fázi přes vyšší úroveň vedoucí k distribučnímu uzlu. S ohledem na topologii může existovat několik variant instalace optického kabelu:

- hvězda (jednotlivé optické trasy jsou ukončené v distribučním uzlu)
- kruh
- pasivní optická síť (PON)

2.1.2 Základními funkčními celky optických přístupových sítí jsou :

- optické linkové zakončení (OLT) - zajišťuje funkce síťového rozhraní mezi přístupovou sítí a sítěmi telekomunikačních služeb
- optická distribuční síť (ODN) - soubor optických přenosových prostředků mezi OLT a jednotkami ONU
- optické ukončující jednotky (ONU) - zabezpečuje funkce účastnického rozhraní mezi koncovými zařízeními účastníků a přístupovou sítí

Uspořádání těchto jednotek v rámci přístupové sítě je vidět na obrázku č. 2.1.



Obrázek 2.1. Uspořádání jednotek v rámci přístupové sítě

Podle způsobu umístění ukončujících jednotek ONU optických přístupových sítí a způsobu jejich provedení, tj. podle toho, kde je v síti optický kabel ukončen, se rozlišují různé typy optických přístupových sítí OAN. Jako základní jsou obvykle uváděny tyto typy:

FTTC (Fibre to the Curb) - optický kabel je přiveden k účastnickému rozvaděči, který se nachází mimo budovu. Koncové body sítě jsou metalickými kabely připojeny k tomuto rozvaděči.

FTTB (Fibre to the Building) - optický kabel je přiveden k účastnickému rozvaděči, který se nachází uvnitř budovy. Zákazníci jsou připojováni pomocí strukturované kabeláže nebo vnitřních metalických rozvodů.

FTTO (Fibre to the Office) - optický kabel je přiveden do prostor důležitých zákazníků s velkými nároky na přenosovou kapacitu.

FTTH (Fibre to the Home) - optický kabel je přiveden až ke koncovým bodům sítě, tj. až na účastnické zásuvky.

Systémy FTTC a FTTB se od sebe moc neliší. Prakticky nalezneme rozdíl pouze v provedení skříní pro umístění koncového zařízení účastnického systému. Zařízení systémů FTTC jsou navrhována pro umístění na volném prostranství, proto by například měli mít i zvýšené požadavky na klimatickou odolnost. Zařízení obou koncepcí FTTC a FTTB lze v jedné síti kombinovat. Další informace lze získat např. z článku [3]. Různým technologiím přístupových a domácích sítí, případně podobným skupinám technologií (rodina xDSL, varianty optiky do domu, bezdrátové přípojky, domácí sítě po elektrickém rozvodu apod.) se věnuje zdroj [14].

- [1] *Během posledních deseti let začala být v mnoha zemích po celém světě budována optická přístupová infrastruktura. Rozšiřovaly se všechny druhy připojení, FTTH/C/B (Fiber To The Home/Curb/Building), podle toho, do jakého bodu přístupové sítě je optické vlákno zavedeno. Na konci roku 2011 bylo v provozu téměř 100 milionů optických přípojek, přičemž 15,66 milionu bylo FTTH. Budování optických přístupových sítí je nejvíce populární v Asii, kde jsou dvě třetiny optických přípojek, to zahrnuje zejména Japonsko, Jižní Koreu, Čínu a Taiwan. Například v Japonsku počet uživatelů FTTH/B převyšuje 10 milionů a pokrývá 90 % populace. Z dalších zemí je pak třeba zmínit USA (9,6 mil.), Rusko (4,5 mil.) a také SAE, kde 55 % domácností již vybaveno přípojkou FTTH.*

Optická přístupová infrastruktura je obvykle založena na technologii pasivní optické sítě (Passive Optical Network, PON) jako je BPON, GPON nebo EPON, které

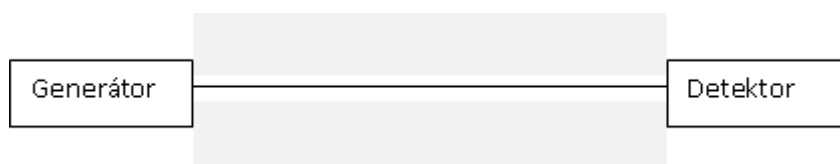
umožňují nabídku atraktivních širokopásmových služeb jako je poskytování video obsahu a IPTV.

2.1.3 Jednovidová vlákna (SM, single mode)

Jednovidové vlákna se nejčastěji používají na dlouhé trasy v řádech jednotek i desítek kilometrů a v sítích, kde jsou požadavky na vysoké přenosové rychlosti nebo kde je předpoklad, že je bude třeba v budoucnosti navyšovat. V dnešní době je trend budovat sítě v single modu a využívat systému s vlnovým multiplexem WDM, CWDM či DWDM.

Pro jednovidová vlákna se používají optické kabely s průměrem jádra $9\mu\text{m}$ (průměr kabelu $125\mu\text{m}$). Nejčastěji využitými vlnovými délkami jsou v dnešní době 1310nm a 1550nm .

Signál je tvořen jedním videm (paprskem), viz obrázek 2.2. Paprsek se šíří podél osy jádra a odráží se při ohybu. Protože se pro jednovidové optické kabely využívá malé jádro, má paprsek velký úhel odrazu ve vlákne, což vede k menšímu prodloužení dráhy paprsku.



Obrázek 2.2. Signál single modu tvořený jedním paprskem

Pro generování a detekci světla u jednovidových vláken je zapotřebí kvalitních, tedy i dražších zařízení. Jako generátory jsou zde používány zejména polovodičové lasery. Jednovidová vlákna využívají skokový index lomu a jejich útlum je při vlnové délce typicky $0,35\text{ dB/km}$ při vlnové délce 1310nm a $0,2\text{ dB/km}$ při vlnové délce 1550nm .

2.1.4 Mnohavidové vlákna (MM, multimode)

Technologie, které využívají mnohavidová vlákna, je v porovnání s jednovidovými vlákny poměrně levná. Je to způsobeno levnější výrobou samotných vláken, která mají větší průměr jádra a jsou tedy méně náročný na výrobu, tak i na generátory a detektory světla. U mnohavidových vláken lze jako generátor použít např. LED. Generátor světla vytváří světelné impulsy tvořené několika paprsky současně, viz obr. 2.3. Každý z těchto paprsků přitom vstupuje do optického vlákna pod poněkud jiným úhlem, odráží se v něm pod poněkud jiným úhlem, a v důsledku toho prochází celým optickým vláknem od generátoru až k detektoru po poněkud jiné, jinak dlouhé dráze než ostatní paprsky, které byly vygenerovány společně v rámci jediného světelného impulsu. Z tohoto důvodu doráží jednotlivé paprsky k detektoru s určitým zpožděním mezi sebou. Toto zpoždění se nazývá vidovou disperzí. Tato disperze má za následek zkreslení signálu. Protože toto zkreslení roste s délkou vláken, nelze využít mnohavidová vlákna na větší vzdálenosti. Limitující vzdálenost je zhruba 2 km .



Obrázek 2.3. Signál multi modu tvořený několika paprsky

Optické kabely, ve kterých se mnohavidová vlákna používají, mají průměr 125 μm a průměr jádra 50 nebo 62,5 μm . Pro tato vlákna se v současné době používá vlnová délka 850nm a 1310nm .

2.1.5 WDM

Obecně jsou optická vlákna určena pro jednosměrný přenos. Pro obousměrnou trasu je tedy nutné mít alespoň 2 vlákna. Jedno pro příjem a druhé pro vysílání. Toto omezení však padlo s nástupem technologie vlnového multiplexu WDM (Wavelength Division Multiplexing).

Tato technologie by se dala přirovnat k frekvenčnímu multiplexu, kdy jsou pro jednotlivé přenosy využívány různé frekvence. V případě technologie WDM jsou jednotlivé přenosy realizovány světlem o různých vlnových délkách. Technologie WDM se využívá převážně u jednovidových vláken, kdy je pro příjem či vysílání použita vlnová délka 1550nm a pro vysílání či příjem vlnová délka 1310nm. Podrobněji se WDM zabývá např. zdroj [9].

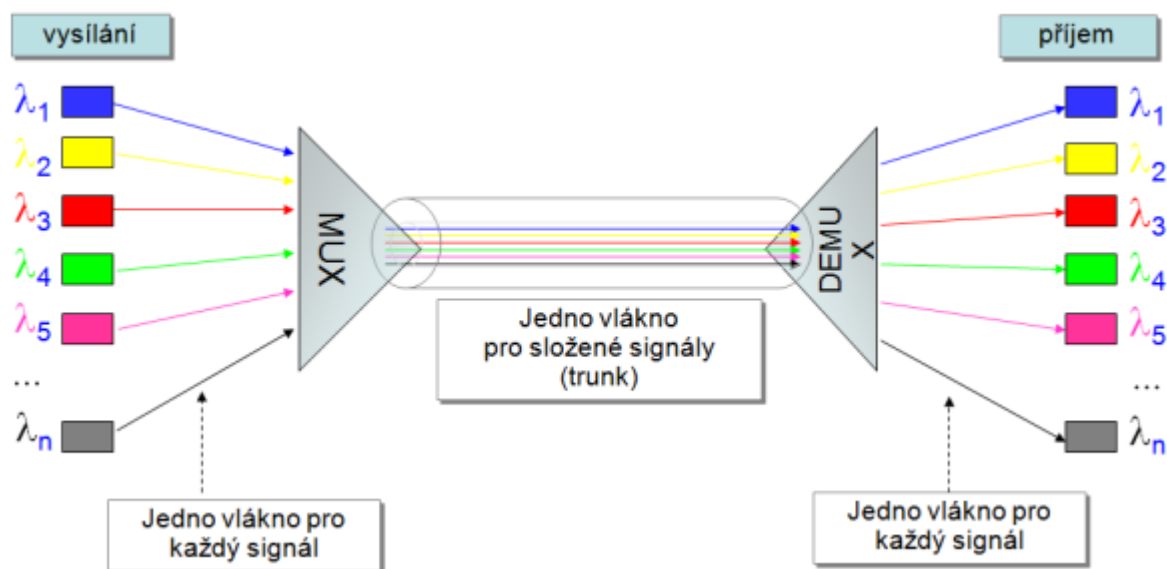
2.1.6 CWDM, DWDM

[2] *Technologie DWDM a CWDM umožňují vytvořit uvnitř vlákna více přenosových kanálů s různými vlnovými délkami, viz obr. č. 2.4. Vlnové délky těchto kanálů (λ) definují doporučení ITU-T G.694.1 a G.694.2. Obě technologie jsou v základním principu obdobné. CWDM využívá méně kanálů, kanály jsou od sebe vzdálenější (2500 GHz v CWDM oproti typickým 50-200 GHz v DWDM). CWDM systémy jsou levnější a ve srovnání s DWDM se hodí pro přenosy o nižších kapacitách na kratší vzdálenosti.*

Komerční DWDM systémy dnes obvykle používají až 80 kanálů, v každém mohou přenášet data až čtyřiceti gigabitovou rychlostí. To dává celkovou kapacitu převyšující 3 terabity za sekundu na vlákne. Přitom vzdálenosti, které je možné překlenout bez obnovování signálu, přesahují 2000 kilometrů.

CWDM specifikuje doporučení ITU-TG.694.2, které definuje využití vlnových délek vzdálených od sebe 20 nm z celého schváleného spektra pro jednovidová optická vlákna od 1270 nm

do 1610 nm. V současné době se převážně využívá pásmo 1470 nm až 1610 nm. Širší kanál 20 nm může využívat teplotně nestabilizovaný laser (DFB), a z tohoto důvodu jsou tyto systémy levnější než multiplexy s hustým dělením (DWDM).



Obrázek 2.4 Více přenosových kanálů uvnitř vlákna s různými vlnovými délkami

2.1.7 Výhody optických vláken

Oproti metalickým kabelům mají optické sítě následující výhody:

- **Velká šířka pásma** - optické nosné vlny odpovídají frekvencím 1013-1016 Hz, z čehož plyne obrovský potenciál přenášených rychlostí - přenosové pásmo je možné v některých případech zvětšovat na již položeném kabelu dodatečně (nasazením nových technologií)
- **Nízký útlum** - přenos na velké vzdálenosti bez nutnosti aktivních "opakovačů"
- **Odolnost proti elektromagnetické interferenci** - u optických vláken neexistují přeslechy a díky použité technologii lze použít v silně zarušeném elektromagnetickém prostředí
- **Bezpečnost přenosu** - přenášené světlo nevyzařuje do okolí, těžko se dá vyvázat a v případě vyvázání dojde k poklesu signálu na koncovém zařízení, a to tak může vyvázání detekovat
- **Dostupnost výroby vláken** - vlákna se vyrábějí z křemíku, který není strategickou surovinou

- **Přenos na velké vzdálenosti** - vzhledem k nízkému útlumu je možný dosah desítky km bez zapojení aktivních prvků. S rozvojem nových optických technologií se dále vzdálenosti mohou zvyšovat.
- **Menší průměr a nižší hmotnost kabelů** – optické kabely jsou vůči metalickým výrazně lehčí a mají menší průměr. Při práci s nimi je snadnější manipulace.

2.1.8 Media konvertory

Media konvertory patří mezi aktivní prvky, které mění typ signálu - tzv. převodníky médií. Signál je převeden na jiný typ signálu, aniž by se datově změnil. Ve většině případů se tedy jedná o převodníky, kde vstupem či výstupem je optické vlákno, ať již single mode nebo multi mode, a výstupem či vstupem je 1Gbps nebo 100 Mbps ethernet se standardním konektorem RJ45 připojitelným na UTP či STP metalickou kabeláž.

2.2 Metalické přístupové sítě

Přestože jsou metalické přístupové sítě v současné době vytlačovány optickými sítěmi, stále je můžeme označit za nejrozšířenější. Nejčastější využití je pro tzv. „poslední míli“, tedy pro koncové připojení k zákazníkovi. Při popisu rozdělení a typických vlastností metalických sítí jsem čerpal ze zdroje [4].

2.2.1 Rozdělení metalických vedení, která se používají pro datové přenosy

- **Symetrické vedení** (symetrický pár)
 - dvojice spirálově stočených vodičů v kabelu
 - **Typické vlastnosti symetrického vedení**
 - vodiče proti zemi mají shodné impedance (elektrická symetrie vůči zemi)
 - význam minimalizace vnějšího rušení (minimální indukce)
 - nízkofrekvenční (místní spojovací kabely)
 - vysokofrekvenční (nosné spojovací kabely)

- struktura: jádro, žíla, kabelová duše, plášť

V přístupových sítích se využívá nejčastěji kabel UTP nebo STP jako strukturovaná kabeláž v domech. Telefonní kabely, dvou- či čtyřžilové, využívají pro připojení zákazníků nejčastěji provozovatelé technologie xDSL.

- **Koaxiální vedení** (koaxiální pár)

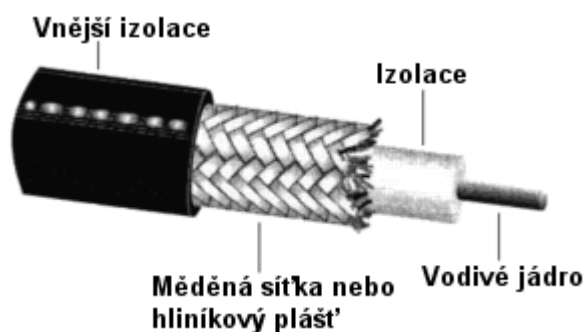
- dvojice souosých vodičů

Z tabulky č.1 můžeme vyčíst důležité parametry pro přenos dat v závislosti na průměru koaxiálního kabelu. Pro přenos dat je důležitá maximální přenosová rychlost. Proto je vhodné zvolit koaxiální kabel s dostatečným průměrem.

Typ kabelu	průměr kabelu (mm)	průměr střední žíly (mm)	max. přenosová rychlost (Mbit/s)
mikrokoaxiální pár	2,8	0,65	34
malý koaxiální pár	4,4	1,2	140
střední koaxiální pár	9,4	2,6	140

Tabulka č. 1

Na obrázku č. 2.5 je znázorněna skladba koaxiálního kabelu. Ve stávající metalické přístupové síti TKR Město Albrechtice je nejmenší použitý průměr vodivého jádra 1 mm a celkový průměr kabelu 6,8 mm.



Obrázek č. 2.5 Jednotlivé vrstvy koaxiálního kabelu

Koaxiálních kabelů pro přenos dat využívají hlavně kabeloví operátoři pro připojení domácností k rozvodu kabelové televize. Stále se však využívají i jako hlavní trasy, a to převážně u menších poskytovatelů, kteří většinou z ekonomických důvodů nekonvertovali přístupovou síť na optickou.

2.2.2 Základní vlastnosti metalických vedení

Metalické sítě mohou být ovlivněny různými rušivými vlivy. Činitele ovlivňující přenosové vlastnosti:

- **Lineární zkreslení.** Rozlišujeme amplitudové zkreslení (tlumení signálu při šíření a jeho frekvenční závislost) a fázové zkreslení (nelineární závislost tlumení na frekvenci).
- **Nehomogenity na vedení.** Mohou být způsobeny změnami průměrů vodičů v jednotlivých úsecích nebo paralelní odbočky
- **Odstup rušivých signálů k užitečným.**

Můžeme dále rozdělit na:

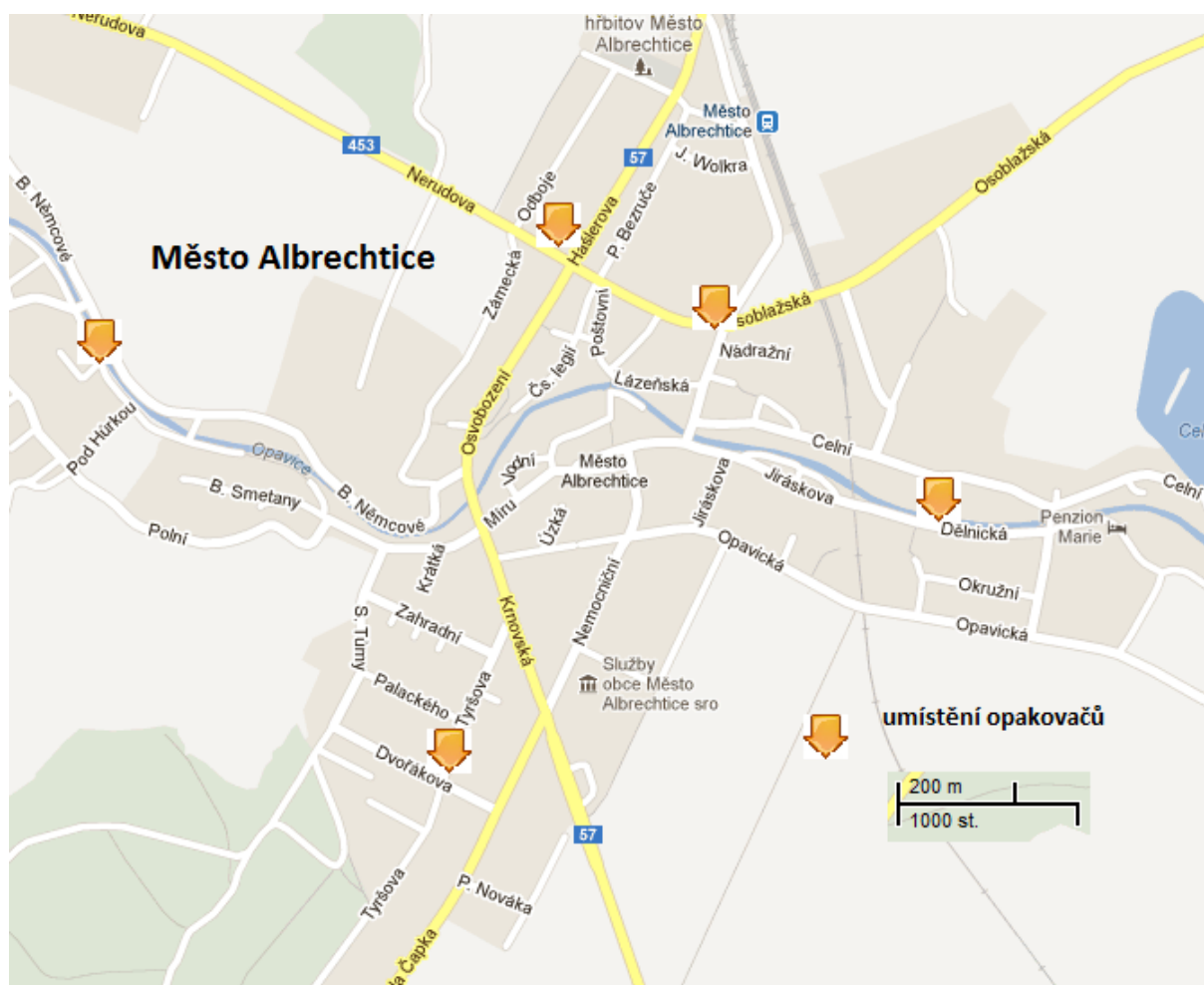
- Termický šum – činný odpor vedení
- Šumové parametry vstupních obvodů přijímače signálu
- Přeslech z okolí metalického páru
- Impulzové šумы

3 Metalická přístupová síť v Městě Albrechticích – stávající řešení

3.1 Topologie sítě

Síť TKR Město Albrechtice byla navržena pro provoz kabelové televize. Všechny programy byly přijímány a do sítě vysílány z jednoho místa. Z důvodu rozlehlosti pokrytého území a členitosti zástavby, kdy převážná většina zákazníků bydlí v rodinných domech, byla z praktického hlediska jedinou vhodnou možností topologie typu hvězdy s následným dalším dělením do topologie typu strom, viz příloha A. Tři hlavní trasy, které se rozebíhají z centrálního bodu, se dále dle potřeby větví do jednotlivých ulic až k zákazníkům. Pro zesilování digitálního a analogového televizního signálu jsou cca po 200 až 300 metrech ve sloupcích umístěny trasové zesilovače. Na konci jednotlivých tras se používají zesilovače koncové, které mají poněkud jinou konstrukci a neumožňují napájení zesilovače za sebou. Ve sloupcích se rozboky a odboky dělí síť na další větve nebo k jednotlivým uživatelům.

Přenos dat je v síti řešen pomocí firemní technologie společnosti Corinex, která je podobná standardu Docsis. Head-end převede vstupní signál z ethernetu OFDM technologie na koaxiální kabel. Signál je vyslán v tzv. „zpětném směru“, což je v našem případě frekvence v rozsahu 5 MHz až 32 MHz. Zesilovače, které zesilují televizní signál, jsou překlenuty a signál v tomto frekvenčním rozsahu nezesilují. Pro zesílení signálu, který vysílá head-end na větší vzdálenosti, se používají opakovací. Opakovací jsou umístěny ve sloupcích dle útlumu jednotlivých tras, maximálně ale ve vzdálenosti jednoho kilometru, viz obr 3.1.



Obrázek č. 3.1 Umístění opakovačů

Dalším omezením opakovače je maximální počet obslužených modemů. Použité opakovače umí obsloužit maximálně 32 klientů, tedy modemů. V případě vyššího počtu připojených zákazníků je nutností použít další opakovač nebo jako opakovač použít head-end. Head-end, který umožňuje připojení více modemů než 32, je ale oproti opakovači výrazně dražší, cca 10x. Proto je na zvážení poskytovatele jeho nasazení přímo v síti.

3.2 Použité zařízení

V síti je použito pět druhů kabelů

3.2.1 Kabel C3 - Draka Coax3 CT 33 S

Tento kabel je použit jako páteří pro úseky od hlavní stanice po rozbočení na dílčí trasy. Celková délka kabelu je cca 430 metrů.

Měděná středová žíla má průměr 3,3 mm, izolace PE 13,3 mm, venkovní vodič (svařená měděná trubka) 14,1 mm, venkovní průměr kabelu je 17,1 mm, útlum pro frekvenci 50 MHz je 1,3 dB/100 metrů.

3.2.2 **Kabel C4 - Draka Coax4 CT 22 S**

Tento kabel je nejčastěji použit pro propojení zesilovačů.

Měděná středová žíla má průměr 2,2 mm, izolace PE 8,8 mm, venkovní vodič (svařená měděná trubka) 9,5 mm, venkovní průměr kabelu je 12,3 mm, útlum pro frekvenci 50 MHz je 2 dB/100 metrů.

3.2.3 **Kabel C6 - Draka Coax6 CT 17 E**

Tento kabel je použit pro koncové rozvody v okrajových lokalitách. Oproti kabelu PRG 11 může být zatížen vyšší proudovou zátěží.

Měděná středová žíla má průměr 1,7 mm, izolace PE 6,9 mm, venkovní vodič (měděná fólie) 7,7 mm, venkovní průměr kabelu je 10,5 mm, útlum pro frekvenci 50 MHz je 2,7 dB/100 metrů.

3.2.4 **Kabel PRG 11 – Belden PRG 11 CU PVC**

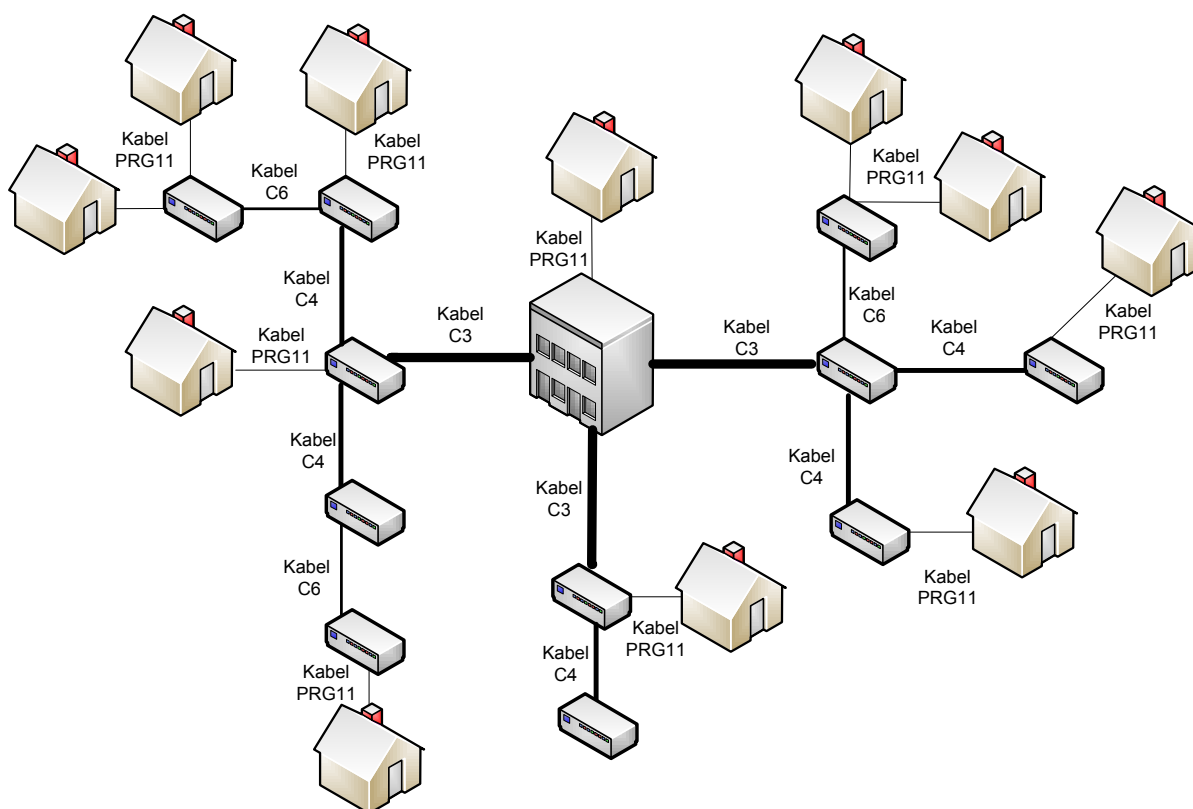
Tento kabel je použit převážně pro koncové úseky k zákazníkům. V některých okrajových lokalitách je použit i pro propojení zesilovačů.

Měděná středová žíla má průměr 1,55 mm, izolace PE 7,25 mm, venkovní vodič (měděné opletení) 7,9 mm, venkovní průměr kabelu je 10,1 mm, útlum pro frekvenci 50 MHz je 2,7 dB/100 metrů.

3.2.5 **Kabel H125 – Belden H125 Cu PVC**

Tento kabel je použit převážně jako koncová rozvodová kabeláž k zákazníkům v panelových domech. Měděná středová žíla má průměr 1 mm, izolace PE 4,8 mm, venkovní vodič (měděné opletení) 5,24 mm, venkovní průměr kabelu je 6,8 mm, útlum pro frekvenci 50 MHz je 4,2 dB/100 metrů.

Na obrázku č. 3.2 je znázorněna struktura kabelů v síti. Zjednodušeně se dá říci, že největší průměry kabelů jsou použity u hlavní stanice a směrem ke konci sítě se průměry kabelů snižují.



Obrázek č. 3.2 Struktura zapojení kabelů

3.2.6 Head-end Corinex CXP-HDA-GWYC

Corinex CXP-HDA-GWYC, obr. č.3.3, slouží jako head-end. Vstupní signál z ethernetu převede OFDM technologii na koaxiální kabel. Maximální počet připojených modemů je 64.

Standardy: 802.3u – definuje Fast Ethernet na UTP kabelu a optickém kabelu
802.1P – implementace QoS
802.1Q – specifikuje značky vložené do Ethernet rámce – VLAN
Více o standardech IEEE např. ve zdroji [12].

Maximální rychlost: až 200 Mbps na fyzické vrstvě

Frekvenční rozsah: 2-34 MHz

Citlivost: -50dBm/Hz

Podrobnější popis na stránkách výrobce [10].



Obrázek č. 3.3 Corinex CXP-HDA-GWYC

3.2.7 Modem, head-end, repeater : Corinex AV200 CableLan Adapter, CXC-HD200-WMEe

Zařízení Corinex AV200, viz obr. č. 3.4, využíváme hlavně jako modem. Postupně je nahrazován inovovaný zařízením CXC-HD200-WMEe. Zařízení lze konfiguračním souborem nastavit i jako head-end či repeater, ale má omezenou kapacitu MAC adres na počet 32. Více zařízení nemůže být najednou připojeno.

Standardy:	802.3u, 802.1P, 802.1Q
Maximální rychlost:	až 200 Mbps na fyzické vrstvě
Frekvenční rozsah:	2-34 MHz
Citlivost:	-56dBm/Hz

Podrobnější popis na stránkách výrobce [11].



Obrázek č. 3.4 Corinex AV200

3.2.8 Server

Jako server je použit počítač architektury x86 s programem RouterOS verze 4.17 od společnosti Mikrotik.

3.3 Napájení zařízení

Zesilovače jsou napájeny po koaxiálním kabelu. V síti je umístěno pět napájecích bodů, viz obr. č. 3.5. Na vstup zesilovače je přivedeno napětí 48V, které se vhodným propojením nožových pojistek mezi jednotlivými větvemi může použít pro napájení dalších zesilovačů. Při zapojování nového zesilovače je nutno vzít v potaz výkon napájecího transformátoru a vzdálenost od zdroje. Jeden zesilovač má odběr cca 20 W.

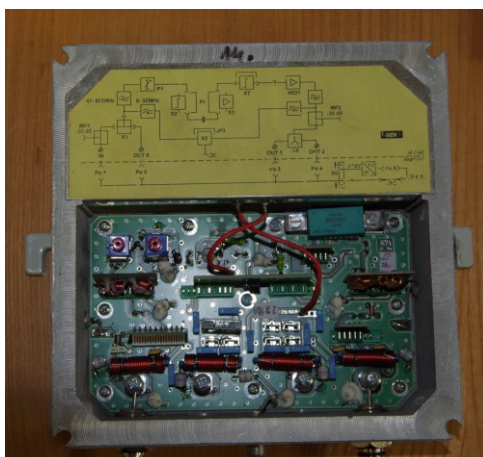
Pro opakovače je nutné mít k dispozici 220 V.



Obrázek č. 3.5 Umístění napájecích bodů v síti

3.3.1 Zesilovač

Zesilovače, obr. 3.6, se používají pouze na zesílení TV signálu. Signál do frekvence 32 MHz, což je v naší síti mezní frekvence pro přenos dat, se nezesiluje, pouze prochází. Používáme zesilovače trasové, viz obr. č. 3.6, které jsou navrženy tak, aby umožnily napájení dalšího zesilovače za sebou přes koaxiální kabel, a koncové. Ty napájení dalšího zesilovače neumožňují. Maximální zesílení je 32 dB, dá se regulovat potenciometrem.



Obrázek č. 3.6 Trasový zesilovač

3.4 Realizace spojení k internetu ve stávající metalické síti

Směr dat z internetu, obr. 3.7:

Internet -> Server -> Head-end -> Repeater -> Modem -> Pc



Obr. č. 3.7 Posloupnost zařízení pro data z internetu

Popis je nutno rozdělit na dvě části:

Management – spojení modemu se serverem a realizace vlastního spojení přes koaxiální kabel

Architektura spojení – komunikace zákaznického zařízení se serverem a dále do internetu

(přiřazení IP adresy, povolení ve firewallu, nastavení rychlosti ...)

3.4.1 Management

Na řídicím serveru je spuštěna služba DHCP a TFTP pro všechny modemy, opakovače a head-end v síti. Každé zařízení musí mít zapsanou fyzickou adresu (MAC adresu) v DHCP serveru a ta je spárována s IP adresou. DHCP server přiřadí zařízení požadovanou IP adresu a z TFTP serveru si zařízení stáhne konfigurační soubor, podle kterého se nastaví a dále komunikuje v síti. Pokud se

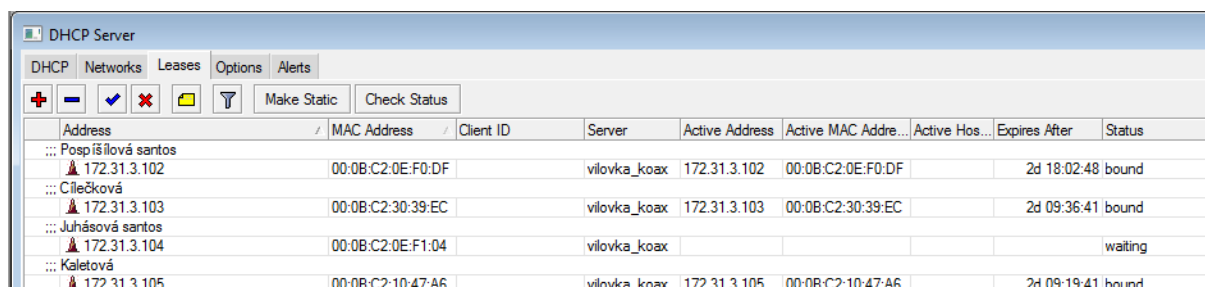
modem nepřihlásí k serveru a nestáhne si konfigurační soubor, nepřipojí se do sítě. V praxi to funguje takto:

1. po zapnutí modem proskenuje frekvence (viz obr. č. 3.8)

no.	start_frq.	stop_frq.	attenuation
0	1800	2000	30
1	3500	4000	25
2	7000	7300	21
3	10100	10150	20
4	14000	14350	23
5	18068	18168	22
6	21000	21450	15
7	24890	24990	15
8	28000	29700	16
9	30000	40000	30

Obrázek č. 3.8 Rozsah frekvencí pro vysílání v kHz

2. vyhledá head-end, je mu dle MAC adresy přiřazena IP adresa z DHCP serveru (viz obr. č. 3.9.)

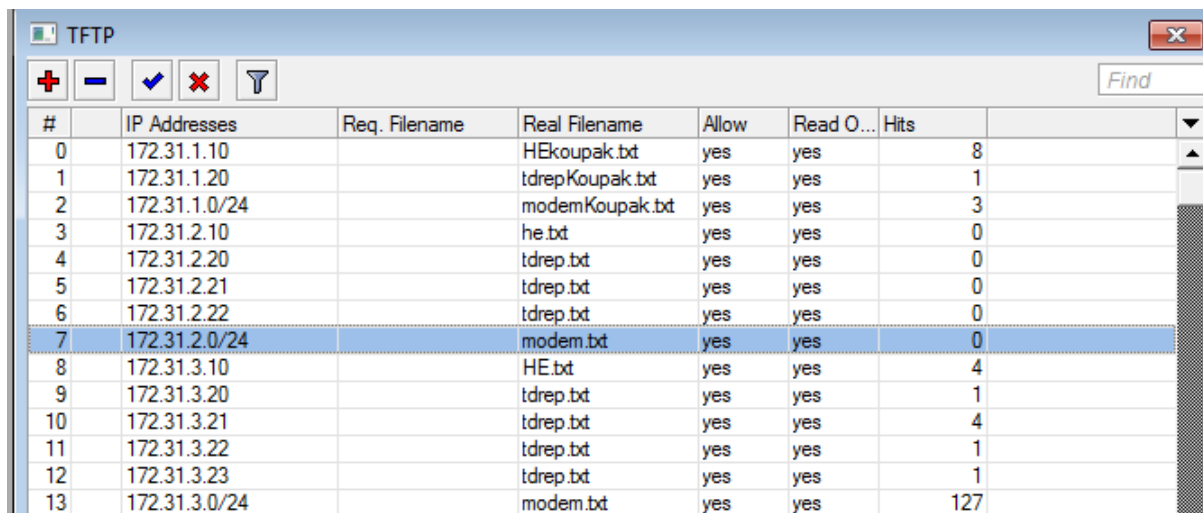


Address	MAC Address	Client ID	Server	Active Address	Active MAC Address	Active Hos...	Expires After	Status
::: Pospíšilová santos 172.31.3.102	00:0B:C2:0E:F0:DF		vilovka_koax	172.31.3.102	00:0B:C2:0E:F0:DF		2d 18:02:48	bound
::: Čilečková 172.31.3.103	00:0B:C2:30:39:EC		vilovka_koax	172.31.3.103	00:0B:C2:30:39:EC		2d 09:36:41	bound
::: Juhásová santos 172.31.3.104	00:0B:C2:0E:F1:04		vilovka_koax					waiting
::: Kaletová 172.31.3.105	00:0B:C2:10:47:A6		vilovka_koax	172.31.3.105	00:0B:C2:10:47:A6		2d 09:19:41	bound

Obrázek č. 3.9 Pravidla pro přiřazení IP adresy modemu dle MAC adresy

3. z TFTP serveru si podle přiřazené IP adresy stáhne konfigurační soubor (viz obr. 3.10)

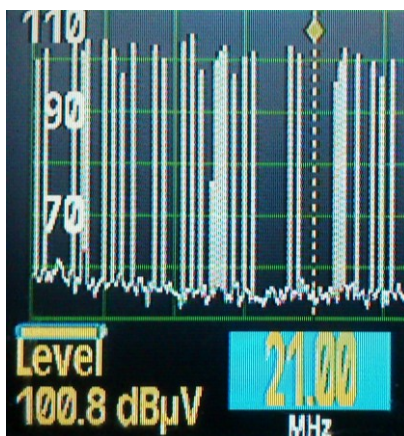
Pokud si zařízení nenačte konfigurační soubor, restartuje se a opakuje dotaz na TFTP server.



#	IP Addresses	Req. Filename	Real Filename	Allow	Read O...	Hits
0	172.31.1.10		HEkoupak.txt	yes	yes	8
1	172.31.1.20		tdrepKoupak.txt	yes	yes	1
2	172.31.1.0/24		modemKoupak.txt	yes	yes	3
3	172.31.2.10		he.txt	yes	yes	0
4	172.31.2.20		tdrep.txt	yes	yes	0
5	172.31.2.21		tdrep.txt	yes	yes	0
6	172.31.2.22		tdrep.txt	yes	yes	0
7	172.31.2.0/24		modem.txt	yes	yes	0
8	172.31.3.10		HE.txt	yes	yes	4
9	172.31.3.20		tdrep.txt	yes	yes	1
10	172.31.3.21		tdrep.txt	yes	yes	4
11	172.31.3.22		tdrep.txt	yes	yes	1
12	172.31.3.23		tdrep.txt	yes	yes	1
13	172.31.3.0/24		modem.txt	yes	yes	127

Obrázek č. 3.10 Výpis z TFTP serveru

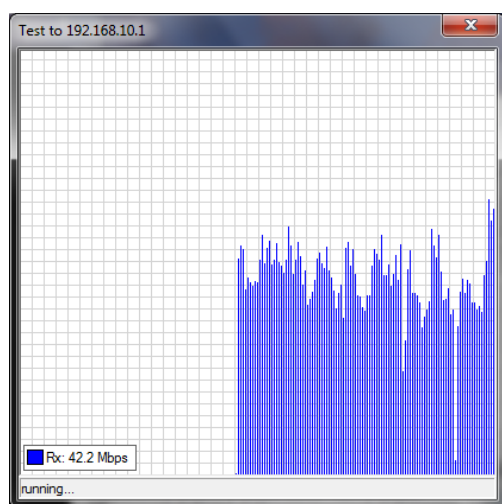
Pro komunikaci mezi zařízeními, head-end, opakovač a modem je použit zpětný přenosový kanál v základním nepřeloženém pásmu v rozsahu frekvence 2 – 34 MHz. V tomto rozsahu lze zvolit z devíti kanálů. Head-end komunikuje s modemem na kanále č. 6, tj. frekvence 21 MHz. Na obrázku č. 3.11 je zachycen průběh a úroveň signálu na frekvenci 21 MHz na měřicím bodě v hlavní stanici, tj. head-end je vzdálen 1m. Úroveň signálu je 100,8 dB μ V, zobrazené pásmo 32MHz. Měření bylo provedeno přístrojem Televés FSM-500.



Obrázek č. 3.11 Zobrazení signálu, který vysílá head-end

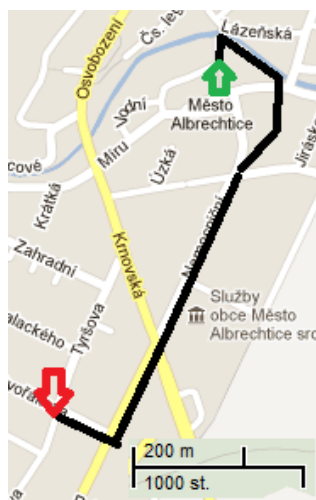
V minulosti byl pro nastavení modemů využíván program Illevo, který měl přehledné grafické rozhraní a ve kterém se jednotlivé modemy přiřazovaly přímo pod head-end či vybraný opakovač. V grafickém rozhraní byly barevně rozlišeny modemy připojené – zeleně a modemy odpojené – červeně. Pro řízení přístupů zákazníku se využíval separátní linuxový server.

Od roku 2012 bylo řízení změněno na program RouterOS od společnosti Mikrotik. Princip řízení zůstal zachován, ale řízení modemů i zákazníků běží na jednom zařízení, zlepšila se stabilita a zvýšil výkon i možnosti nastavení. Hlavní tři směry byly od sebe odděleny. Nejsou již propojeny do jednoho přepínače, ale jsou připojeny přímo do serveru. Zároveň jsou použity různé podsítě se statickou IP adresou.

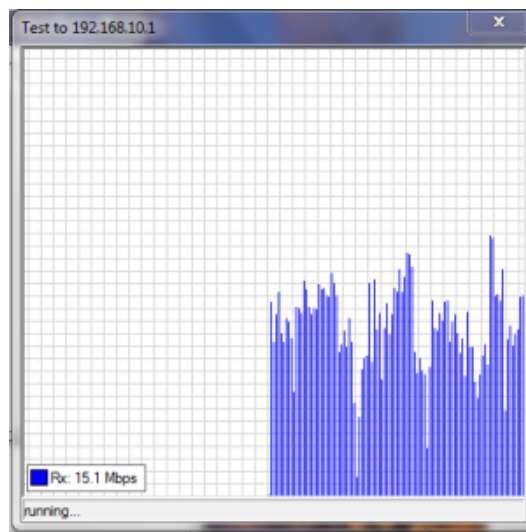


Obrázek č. 3.12 Test propustnosti metalické sítě v hlavní stanici

Na obr. č. 3.12 je graficky znázorněna propustnost metalické sítě v hlavní stanici při propojení modemu na head-end kabelem o délce jednoho metru. Společnost Mikrotik má vlastní aplikaci pro testování propustnosti sítě BTest, která se spouští z testovacího počítače a připojuje se na zvolené rozhraní. Pro tento test nejsou aplikována žádná omezující pravidla. Z grafického znázornění lze vyčíst, že maximální rychlost byla 42,2 Mbps. Výrobce udává rychlost až 200 Mbps, ale v reálných podmínkách je tato těžko dosažitelná.



Obrázek č. 3.13 Zobrazení měřené trasy v mapě

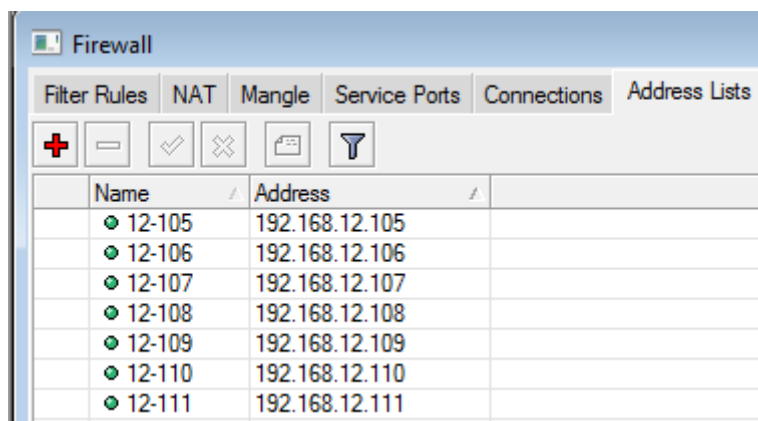


Obrázek č. 3.14 Test propustnosti metalické sítě z opakovače Vilovka, vzdálenost 975m od hlavní stanice

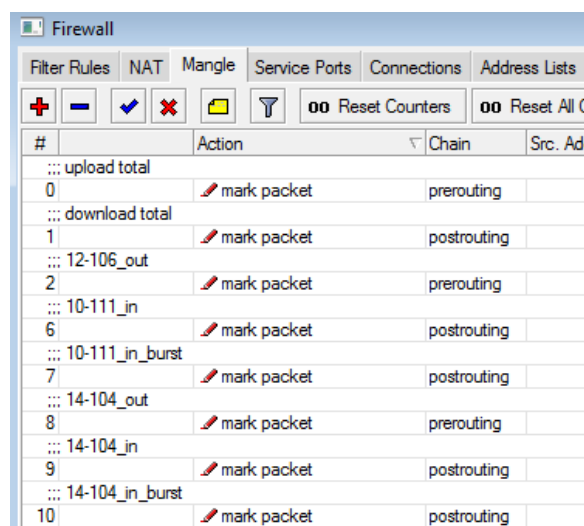
Na obr. 3.14 je grafické znázornění stejného testu propustnosti sítě, ale ve vzdálenosti 975 metrů od head-endu, obr. 3.13. Notebook byl připojen přímo na výstup repeateru přes síťové rozhraní. Z grafu je zřejmé, že propustnost sítě je na tuto vzdálenost nedosahuje ani polovičních hodnot. Maximální rychlost byla 20Mbps, ale ta byla opravdu jen špičková. Většinou rychlost kolísala mezi 11 až 15 Mbps s dobou odezvy od 11 do 81 ms.

3.4.2 Architektura spojení

Pro každého zákazníka je vytvořeno v RouterOS několik pravidel. Jako první je nutno vytvořit pravidlo v Adress listu, vytvořit značku a přiřadit jí vlastní IP adresu, viz obr. č. 3.15. V případě potřeby je možné v Adress listu přesměrovat zákazníka na portu 80 na vlastní stránky. Tohoto se dá využít pro různá upozornění, která chceme zákazníkům sdělit. Přesměrování může být časově omezené, nebo i trvalé.



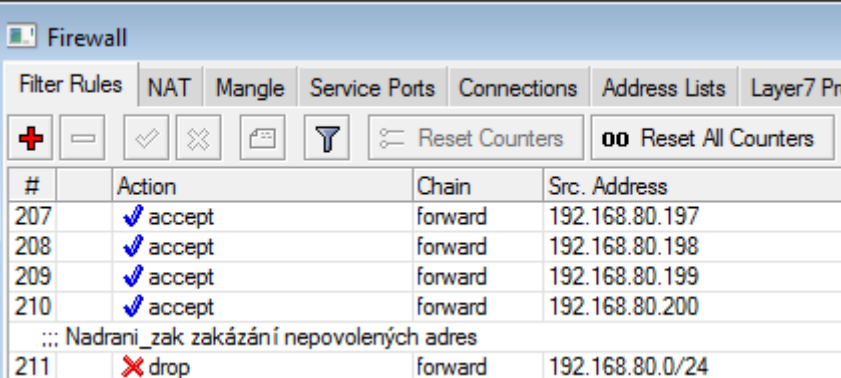
Obrázek č. 3.15 Výpis z Adress listu, přiřazení značky IP adrese



Obrázek č. 3.16 Výpis pravidel z Mangle

Další pravidlo se vytvoří v Mangle, viz obr. č. 3.16. Zde se vytvořené značce přiřadí, zda bude značkovat paket příchozí - označený *in*, či odchozí – označený *out*. Používáme ještě značení paketů *in_burst*. Tyto pakety mají po danou dobu zvýšenou rychlost oproti paketům *in*.

Ve Filter Rules je třeba povolit pravidla přístupu, viz obr. č. 3.17. IP adresy, které nejsou povoleny, jsou zakázány.



#	Action	Chain	Src. Address
207	✓ accept	forward	192.168.80.197
208	✓ accept	forward	192.168.80.198
209	✓ accept	forward	192.168.80.199
210	✓ accept	forward	192.168.80.200
::: Nadrani_zak zakázání nepovolených adres			
211	✗ drop	forward	192.168.80.0/24

Obrázek č. 3.17 Výpis pravidel z Filter Rules

4 Konverze přístupové sítě v Městě Albrechticích

4.1 Topologie sítě

Optická síť se začala budovat při rekonstrukci VO na ulici Nádražní. V roce 2011 byly položeny chráničky, v roce 2012 byly zafouknuty a svařeny optické kabely, usazený nástěnný rozvaděč v panelových domech, a jelikož doposud bylo vše vedeno v koaxiálních kabelech až do bytu, musela být rozvedena i strukturovaná kabeláž (UTP5e) v domech. Síť byla navržena jako pasivní, v single modu. Popis optických sítí lze najít např. ve zdroji [13] či [17]. Optický signál je přenášen duplexně s dělením WDM (Wavelength Division Multiplexing), kdy signály jsou přenášeny po jednom vláknu, jeden směr v oblasti 1310 nm a druhý v oblasti 1550 nm. Provedení můžeme označit jako FTTB, protože optický kabel končí v nástěnném rozvaděči panelového domu a dále je rozvod veden strukturovanou kabeláží UTP kat. 5e až k zákazníkům.

Topologie sítě je opět typu hvězdy. Z panelových domů se jednotlivá vlákna sbíhají do sloupků, kde jsou dále provažena až do centrálního bodu, zde je umístěn optický přepínač pro poskytování konektivity zákazníkům.

Od domu k prvnímu sloupku vede vždy optický kabel se čtyřmi vlákny. Ze sloupku dále, podle potřeby, záleží kolik panelových domů je připojeno do daného sloupku, je použit dvanácti či dvaceti čtyř vláknový optický kabel.

Při navrhování struktury sítě jsem vycházel z plánů pro pokládku kabelů veřejného osvětlení. Dalším mým cílem bylo položit síť bez pomoci externích firem. Proto jsem umístění sloupků volil tak, abychom zafukování optického kabelu zvládli sami, nejdelší trasa měřila 400 metrů. Z ekonomických důvodů bylo mým cílem snížit výkopové práce na minimum a co možná nejvíce využít výkopů určených pro veřejné osvětlení. Rovněž uložení mikrotrubiček do výkopů jsme prováděli svépomocí v koordinaci s pokračujícími pracemi na pokládce nových kabelů pro veřejné osvětlení. Díky tomu se nám podařilo ušetřit desítky tisíc korun. Náklady na práci byly vyčísleny na 15 000,- Kč. Když jsem si nechal zpracovat cenovou nabídku pouze na zafouknutí optického kabelu, firma nabízela cenu 18,- Kč bez DPH za metr. Při potřebě zafouknout celkem 3,1 km optických kabelů vychází rozdíl na 40 000,- Kč bez DPH. Největší finanční úspora vznikla díky minimálním nákladům na zemní práce, protože rekonstrukce veřejného osvětlení byla plánovanou investiční akcí města a náš odbor využil hotových výkopů, aniž by se na nich musel finančně podílet. Při délce výkopu 1 km a ceně cca 140,- Kč bez DPH za metr jde o částku 140 000,- Kč bez DPH, kterou jsme nemuseli investovat. Díky tomu byly náklady na vybudování optické sítě velice příznivé, protože většinu nákladů tvořil pouze materiál, mikrotrubičky, optické kabely, sloupky. Celkové náklady na materiál a svaření optických vláken nepřesáhly částku 100 000,- Kč bez DPH. Další náklady pak vznikly při pořizování aktivních prvků. Při propočítání nákladů s předpokládaným ziskem odhadujeme návratnost této investice do čtyř let.

Protože se podařilo propojit optickým kabelem serverovnu naši i našeho poskytovatele konektivity, mohl se zrušit bezdrátový spoj a navýšit konektivita pro potřeby naše a našich zákazníků. Proto jsme mohli zvýšit rychlost připojení. Rovněž doba odezvy a stabilita připojení se zlepšila. Dalším přínosem pro koncové uživatele bylo, že optická síť byla pronajata i dalšímu poskytovateli, a tudíž je možno si v připojené lokalitě přes jednu přístupovou síť vybrat mezi dvěma poskytovateli.

Oddělení dat poskytovatelů jsme provedli virtuální sítí na úrovni 2. vrstvy ISO/OSI. Port přepínače je ručně a napevno zařazen (nakonfigurován) do určité VLANy. Veškerá komunikace, která přichází přes tento port, spadá do zadané VLANy. To znamená, že pokud do portu připojíme další přepínač, tak všechna zařízení připojená k němu budou v jedné VLANě. V našem případě jsou odznačkovávány, podle připojení k poskytovateli, až jednotlivé porty k zákazníkům.

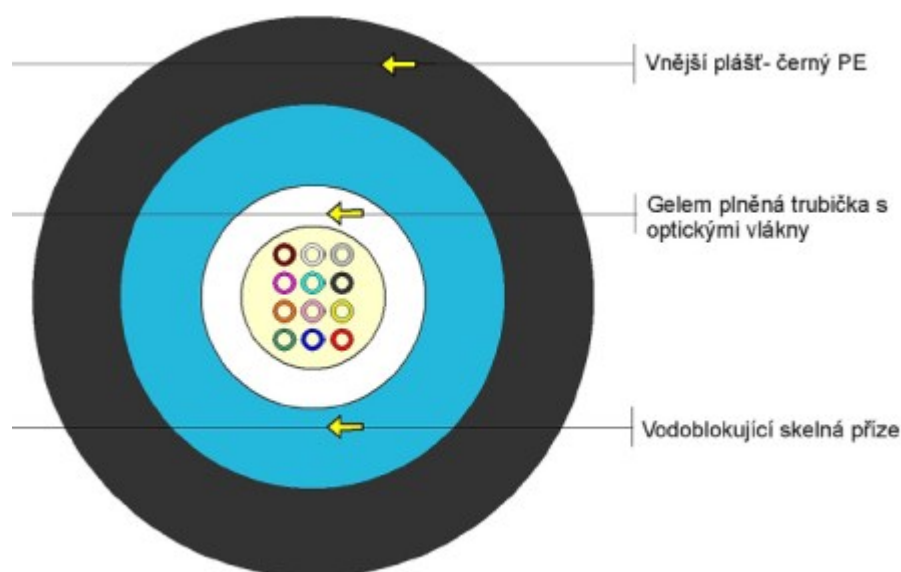
Při návrhu a realizaci sítě byla zvolena varianta, kdy je z optického kabelu využita část vláken pro poskytování internetu a část vláken pro ostatní potřeby města a v tuto chvíli i řízení některých rozvaděčů veřejného osvětlení, viz příloha B. Během letošního roku se bude realizovat kamerový systém, který rovněž bude využívat optický kabel k přenosu dat a k ovládání a řízení kamer. Dohledová stanice bude umístěna na stanici Policie ČR, monitorovací pak v budově městského úřadu.

Proto jsou jednotlivá vlákna provařena tak, aby byly jednotlivé sítě na sobě nezávislé. Vznikly tak tři paralelní sítě, které jsou od sebe fyzicky odděleny a nevyužívají žádné společné aktivní zařízení. Připojené rozvaděče VO jsou svedeny do samostatného přepínače a rovněž kamerový okruh bude zapojen nezávisle na ostatních zařízeních.

Takto navržená síť by dle předpokladů měla být odolnější a bezpečnější. Tímto způsobem jsme chtěli zamezit možným rizikům, která by mohla vzniknout špatným nastavením v jiném segmentu sítě nebo cíleným napadením.

4.2 Použité zařízení

V přístupové síti je použito tří druhů optických kabelů. Kabely jsou stejné konstrukce, liší se v počtu obsažených vláken. Jako sekundární ochrana je použita trubička plněná tixotropním gelem, vodoblokující skelná příze slouží jako tahový prvek, vnější plášť je tvořen černým polyetylenem (viz. obr. č. 4.1).



Obázek. č. 4.1 Průřez optickým kabelem

4.2.1 4 vláknový optický kabel

Kabel je použit k připojení panelových domů do nejbližšího sloupku. Pro připojení je využito jedno vlákno. V první etapě bylo položeno 1225 metrů. Vlákno má průměr jádra 9 μm , 125 μm venkovní průměr, útlum λ 1310 nm 0,31 – 0,35 dB/km, útlum λ 1550 nm 0,20 – 0,24 dB/km.

4.2.2 12 vláknový optický kabel

Kabel je použit pro propojení mezi sloupky. V první etapě bylo položeno 1480 metrů. Vlákno má průměr jádra 9 μm , 125 μm venkovní průměr, útlum λ 1310 nm 0,31 – 0,35 dB/km, útlum λ 1550 nm 0,20 – 0,24 dB/km.

4.2.3 24 vláknový optický kabel

Kabel je použit pro propojení mezi sloupky. V první etapě bylo položeno 400 metrů. Vlákno má průměr jádra 9 μm , 125 μm venkovní průměr, útlum λ 1310 nm 0,31 – 0,35 dB/km, útlum λ 1550 nm 0,20 – 0,24 dB/km.

4.2.4 Optické převodníky TP-LINK MC111CS, TP-LINK MC112CS

TP-LINK MC111CS média konvertor určený pro převod médií z optického vedení 100BASE-FX na metalické vedení 100Base-TX a naopak. Tento konvertor je určen pro použití s jednovodičným optickým kabelem s konektorem typu SC. Náklady na kabeláž jsou poloviční díky použité technologii WDN, která využívá pouze jeden optický kabel pro odesílání a příjem dat. Využívá vlnovou délku 1550 nm pro odesílání dat a 1310 nm pro příjem dat. Další koncové zařízení, které má spolupracovat s tímto modulem, musí využívat vlnovou délku 1310 nm pro odesílání dat a 1550 nm pro příjem dat, jako například konvertor TP-LINK MC112CS.

- **Standardy a protokoly:**

IEEE 802.3, IEEE 802.3u, IEEE 802.3x

- **Základní funkce:**

Podporuje technologii WDM

Poloduplexní/plně duplexní režim přenosu pro port FX

Plně duplexní řízení toku (IEEE 802.3x)

Poloduplexní řízení toku (Backpressure)

Funkce Link Fault Passthrough a Far End Fault včas minimalizují ztrátu způsobenou přerušením spojení

Prodlužuje dosah optického vedení až na 20 km

Podrobnější popis na stránkách výrobce [5], [6]

4.2.5 **Optický přepínač Edge-Core ES3528M**

Výkonný 28-portový Fast Ethernet L2/4 switch osazený 24x 10/100Base-T (RJ-45) porty a 4x Gigabit Combo (RJ-45/SFP) porty pro up-link s kompletním managementem

- Specifikace:

- 24x 10/100Base-T (RJ-45) ports
- 4x Gigabit Combo (RJ-45/SFP) ports

Podrobnější popis na stránkách výrobce [7]

4.2.6 **Optický přepínač Edge-Core ES3510**

Výkonný L2/L4 přepínač firmy Edge-Core, který je osazen 8 porty 10/100BaseT (RJ-45) a dále dvěma Gigabit Ethernet Combo porty (RJ-45/SFP) pro metalický či optický up-link s kompletním managementem.

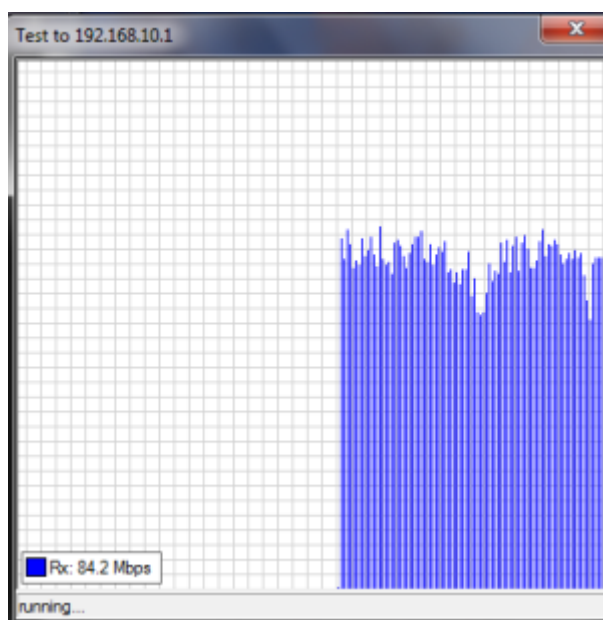
- Specifikace:

- 8x 10/100Base-T ports (RJ-45)
- 2x Gigabit Combo ports (RJ-45/SFP)

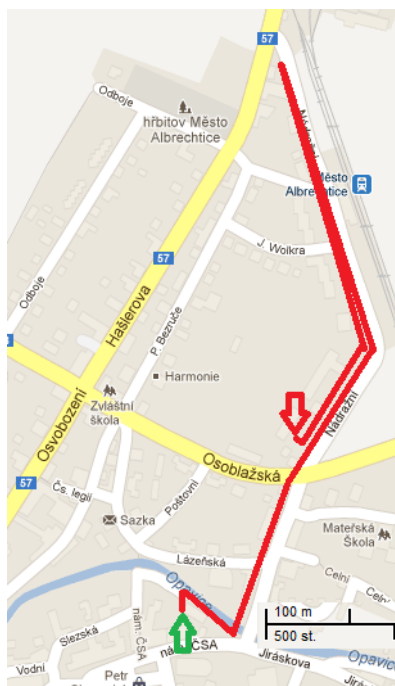
Podrobnější popis na stránkách výrobce [8]

4.3 Propustnost, odezvy, stabilita sítě

Test propustnosti sítě probíhal stejně jako na koaxiálním kabelu. Měření bylo provedeno v panelovém domu na ul. Nádražní č. 1. Délka optického vlákna je 1500 metrů, obr. č. 4.3. Notebook byl připojen do přepínače a z rozhraní 192.168.10.1. ze serveru byla spuštěna aplikace BTest, obr. č. 4.2. Z grafického znázornění je vidět, že propustnost optické sítě je daleko stabilnější, rozdíl mezi minimem a maximem dosažené přenosové rychlosti je poměrově daleko nižší než u metalické sítě a samozřejmě rychlejší. Protože v síti jsou použity 100 Mbit/s optické převodníky a test byl prováděn za provozu, pohybuje se průměrná rychlost okolo 80 Mbit/s s dobou odezvy v rozmezí od 3 do 11 ms na bránu.



Obrázek č. 4.2 Test propustnosti sítě, ul. Nádražní č.1



Obrázek č. 4.3 Zobrazení měřené trasy v mapě

Přístup zákazníků k internetu je řešen obdobně jako u koaxiální sítě. Pro přiřazení IP adresy koncovému zařízení zákazníka (pc, router) je použit server DHCP, který je součástí systému RouterOS. Při prvotním připojení k síti či změně zařízení je nutno přiřadit v DHCP serveru MAC adresu zařízení IP adresu, obr. 4.4. Stejně jako u koaxiální sítě je pak potřeba nastavit pravidla pro označování paketů a omezování rychlosti stahování a odesílání dat.

DHCP Server									
DHCP Networks Leases Options Alerts									
<div> <div>+</div> <div>-</div> <div>✓</div> <div>✗</div> <div>📄</div> <div>🔍</div> <div>Make Static</div> <div>Check Status</div> </div>									
Address	MAC Address	Client ID	Server	Active Address	Active MAC Address	Active Hostname	Expires After	Status	
192.168.80.172	00:23:CD:C6:29:DF	1:0:23:cd:c6:29:df	server1	192.168.80.172	00:23:CD:C6:29:DF	NatRouter	2d 12:15:24	bound	
192.168.80.173	00:1F:16:B5:38:58	1:0:1f:16:b5:38:58	server1	192.168.80.173	00:1F:16:B5:38:58	radek-PC	2d 14:38:18	bound	
192.168.80.177	00:27:19:E0:5E:A5	1:0:27:19:e0:5e:a5	server1	192.168.80.177	00:27:19:E0:5E:A5	TL-WR74...	2d 08:14:53	bound	
192.168.80.178	00:21:27:E2:FB:FD	1:0:21:27:e2:fb:fd	server1	192.168.80.178	00:21:27:E2:FB:FD	NatRouter	2d 20:20:16	bound	
192.168.80.179	00:1B:FC:E7:6D:81	1:0:1b:fc:e7:6d:81	server1	192.168.80.179	00:1B:FC:E7:6D:81	pal	2d 21:54:57	bound	

Obrázek č. 4.4 Výpis z DHCP serveru

5 Závěr

Provoz internetu po koaxiálních kabelech při využití uzavřené technologie společnosti Corinex je velice náročný a problematický na údržbu. Technologie byla nasazena a spuštěna v roce 2006 a od té doby v podstatě nebyla inovována. Modemy nevykazují dobrou spolehlivost, nemají dostatečně vyřešeno chlazení – přehřívají se, jsou velice citlivé na kolísání napětí, jsou drahé na pořízení (cca 2200,- Kč bez DPH za ks). Nenabízejí se ve verzi se směrovačem, či dokonce v kombinaci s bezdrátovým přístupovým bodem. Ve stávající síti nedosahují dostatečné stability a přenosové rychlosti požadované zákazníky v dnešní době. Protože jde o firemní technologii společnosti Corinex, nelze pořídit alternativní levnější kompatibilní zařízení.

Možným řešením je zásadní inovace technologie a nasazení technologie Docsis. Dnes již lze pořídit mini CMTS stanici za cenu 100 000,- Kč a modem do 800,- Kč bez DPH. Po konzultaci s techniky UPS připravujeme síť k testování Docsis verze 3.

Po spuštění provozu optické sítě jsme ocenili její skvělou spolehlivost, rychlost a stabilitu. Za cca rok provozu jsme nemuseli řešit žádný problém, což se odrazí především na spokojenosti zákazníků a v omezení nákladů na servis a opravy.

Při srovnání těchto dvou sítí je zřejmý zásadní rozdíl využitelnosti pro poskytování internetu zákazníkům. Z výše uvedených testů je vidět několikanásobně vyšší propustnost optické sítě, která se dá ještě v případě potřeby jednoduše zvýšit využitím média konvertorů s přenosovou rychlostí 1,25 Gbit/s, možnost využití delších tras optických kabelů či vyšší stabilita a rychlejší časová odezva optické sítě oproti koaxiální síti.

Koaxiální síť byla navržena pro kabelovou televizi a poskytování připojení k internetu bylo doplněno až po devíti letech provozu pro zájem uživatelů o internet a nedostatek lokálních poskytovatelů k jejich připojení. Z důvodu úspory se při počátečních investicích zvolila technologie, kterou bohužel firma již dále nerozvíjela a pro dnešní poměry již není dostačující. Optická síť byla vybudována s ohledem na dnešní potřeby při přenosu dat, tedy s dostatečnou kapacitou, s možností rozšíření a využití pro další rozvoj.

Použitá literatura

- [1] HRSTKA, Jaroslav. Trendy v optických přístupových sítích. [online]. [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: [1] <http://www.netguru.cz/koutek-redaktora/trendy-v-optickych-pistupovych-sitich.html>
- [2] NĚMEČEK, Ivo. Architektury a technologie v moderních optických DWDM sítích 1/2. [online]. [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: <http://netguru.cz/odborne-clanky/architektury-a-technologie-v-modernich-optickych-dwdm-sitich-12.html>
- [3] SCHLITTER, Pavel. Optické přístupové sítě. *Optické přístupové sítě* [online]. 28. 07. 2004 [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2004072807>
- [4] MER, Přemysl. *Přednášky předmětu Přístupové sítě*. 17.10.2012.
- [5] TP-LINK. [online]. [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://cz.tp-link.com/products/details/?model=MC111CS>
- [6] TP-LINK. [online]. [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://cz.tp-link.com/products/details/?model=MC110CS>
- [7] Edge-core. [online]. [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://www.edge-core.com/ProdDtl.asp?sno=363>
- [8] Edge-core. [online]. [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://www.edge-core.com/ProdDtl.asp?sno=328>
- [9] SÝKORA, J. Princip WDM. [online]. 28. 07. 2004 [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2004072805>
- [10] Corinex. [online]. [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://www.corinex.com/product/high-density-access-gateway>
- [11] Corinex. [online]. [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://www.corinex.com/product/corinex-hd200-cablelan-wall-mount-adapter-us>
- [12] IEEE SA. [online]. [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: http://standards.ieee.org/findstds/standard/software_and_systems_engineering.html
- [13] FILKA, Miloslav. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. Vydání první. Brno : Doc. Ing. Miloslav Filka, CSc., 2009. 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.
- [14] PUŽMANOVÁ, Rita. Širokopásmový Internet : Přístupové a domácí sítě. Vydání první. Brno : Computer Press, 2004. 384 s. ISBN 80-251-0139-8.

-
- [15] PRAT, Josep. *Next-generation FTTH passive optical networks*. New York: Springer, 2008, p. cm. ISBN 978-140-2084-690
- [16] ZELINKA, Tomáš a Miroslav SVÍTEK. *Telekomunikační řešení pro informační systémy síťových odvětví*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 218 s. ISBN 978-80-247-3232-9.
- [17] LIN, Chinlon. *Broadband optical access networks and fiber-to-the-home: systems technologies and deployment strategies*. Hoboken, NJ: Wiley, c2006, xxix, 302 p. ISBN 978-047-0094-785.

Seznam příloh

Příloha.A: Topologie sítě



Příloha.B: Konvertovaná optická síť

